

Chaleur

Propagation de la chaleur
Conductivité thermique

LD
Fiches d'expériences de
physique

P2.2.1.1

Détermination de la conductivité thermique de matériaux de construction selon le procédé à une plaque

Relevé et exploitation avec CASSY

Objectifs expérimentaux

- Relevé de l'évolution de la température de différents échantillons de matériaux en fonction du temps.
- Observation qualitative de l'établissement de l'équilibre thermique.
- Détermination de la conductivité thermique des échantillons de matériaux à partir de la différence de température.

Notions de base

Avec la méthode à une plaque, la conductivité thermique λ d'un échantillon de matériau de construction d'épaisseur d et de surface A est déterminée par la mesure directe de la différence de température $\Delta\vartheta$ et du flux thermique $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$. À partir de

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot \frac{A}{d} \cdot \Delta\vartheta$$

on a

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{d}{A} \cdot \frac{1}{\Delta\vartheta} .$$

Pour la mesure, il est important que le flux thermique traverse l'échantillon de matériau de façon homogène et qu'il n'y ait aucune perte de chaleur par d'autres biais. Avec la chambre calorimétrique, ceci est surtout garanti par l'enceinte calorifuge.

Pour créer le flux de chaleur à travers l'échantillon de matériau,
- on chauffe électriquement l'intérieur de la chambre et
- à l'extérieur, on met de la glace directement sur l'échantillon.

En équilibre thermique, c.-à-d. à l'état stationnaire où la température est constante dans le temps en tous points, la puissance électrique P correspond exactement au flux thermique

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

ou

$$P \cdot t = W = Q$$

c.-à-d. que le travail électrique W fourni est égal à l'énergie thermique Q qui traverse l'échantillon de matériau.

La conductivité thermique λ du matériau de l'échantillon est donnée par :

$$\lambda = P \cdot \frac{d}{A} \cdot \frac{1}{\Delta\vartheta} .$$



Fig. 1 Détermination de la conductivité thermique d'un échantillon de matériau de construction selon la méthode à une plaque.

Matériel

1 chambre calorimétrique	389 29
1 jeu d'échantillons de matériaux de construction pour la chambre calorimétrique .	389 30
1 transformateur 2...12 V, 120 W.....	521 25
1 Sensor-CASSY 2.....	524 013
1 CASSY Lab 2	524 220
1 adaptateur NiCr-Ni S, type K	524 0673
2 sondes de température NiCr-Ni, 1,5 mm, type K	529 676
1 câble d'expérimentation 19 A, 50 cm, noirs, paire.....	501 451
4 câbles d'expérimentation 32 A, 100 cm, noirs	501 33
Glace	
Mince feuille de plastique	
1 PC avec Windows XP/Vista/7/8	

Dans l'expérience, on mesure la température de la face inférieure (le dessous) de l'échantillon de matériau, soit de l'intérieur de la chambre, et de la face extérieure (le dessus) qui est ici recouverte de glace.

Le système n'est pas tout de suite en équilibre thermique après la mise en service du chauffe-plaques. Pour obtenir la différence de température à l'état d'équilibre thermique, l'évolution temporelle des températures doit être enregistrée sur une période suffisamment longue (environ 1 heure).

La variation temporelle de la température intérieure est proportionnelle à cette température avec en plus une constante :

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = a \cdot \vartheta + b .$$

La résolution de cette équation pour la température en fonction du temps $\vartheta(t)$ est ramenée à :

$$\vartheta(t) = \vartheta_{ET} - \vartheta_{diff} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

avec :

- ϑ_{ET} : température intérieure en équilibre thermique
- $\vartheta_{diff} = \vartheta_{ET} - \vartheta_{initiale}$: différence de température
- τ : constante de temps

La température en équilibre thermique de la face chauffée de l'échantillon de matériau de construction résulte de l'adaptation de la fonction de la forme

$$f(x) = A - B \cdot \exp(-x/C)$$

aux valeurs relevées dans l'expérience. Le paramètre A obtenu du fait de l'adaptation correspond alors exactement à la température ϑ_{ET} cherchée.

Grâce à la glace, la température extérieure de la face supérieure de l'échantillon de matériau est maintenue faible et surtout constante. Comme il peut malgré tout survenir de faibles variations de température, on calcule la moyenne des valeurs de la température extérieure et on utilise cette valeur moyenne ϑ_{froid} pour calculer la différence de température

$$\Delta \vartheta = \vartheta_{ET} - \vartheta_{froid}$$

Ceci étant fait, il est alors possible de calculer la conductivité thermique λ .

Montage expérimental**a) Mesure de la puissance**

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 2.

Avant de réaliser l'expérience proprement dite, il convient de déterminer la puissance P du chauffe-plaques. Pour ce faire, la chambre calorimétrique doit être brièvement mise en service sans aucune plaque de matériau.

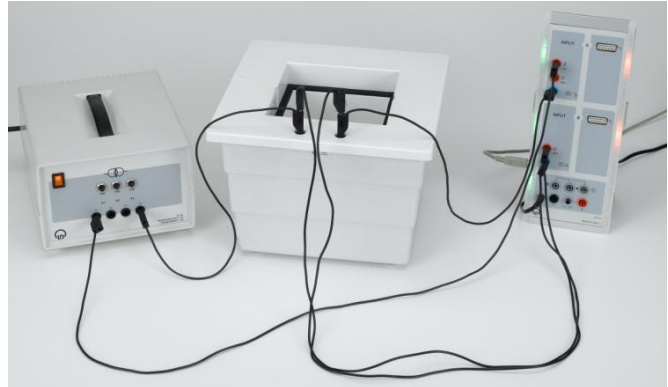


Fig. 2 Détermination de la puissance du chauffe-plaques

- Installer le chauffe-plaques dans la chambre calorimétrique. Ne pas mettre le transformateur en marche !
- Brancher le transformateur et la chambre calorimétrique au Sensor-CASSY conformément à la fig. 2 pour mesurer la tension et le courant.

b) Mesure de la température

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 1.

- Installer le chauffe-plaques dans la chambre calorimétrique.
- Préparer une plaque de matériau à placer ensuite dans la chambre calorimétrique :
- Mettre une pastille de contact en aluminium dans les évidements circulaires prévus à cet effet sur la plaque de matériau au bout de la rainure et appliquer la pâte thermoconductrice. La pastille de contact doit être positionnée de façon à ce que le trou soit dans le prolongement de la rainure.
- Appliquer la pâte thermoconductrice seulement sur la pastille de contact.
- Poser avec précaution, c.-à-d. sans la déformer, une fine plaque en aluminium (de 0,3 mm d'épaisseur) avec la face noire tournée vers l'extérieur sur la face badigeonnée de pâte de cet échantillon de matériau puis presser les deux plaques l'une contre l'autre.
- Recommencez la procédure pour l'autre face.
- À présent, d'abord insérer la pointe des sondes de température dans le trou des bouchons (diamètre : 1,5 mm) en faisant attention de ne pas la déformer. Ne pas mettre les sondes tout de suite dans la chambre calorimétrique !

- Placer l'échantillon de matériau ainsi préparé dans l'ouverture de la chambre et introduire les sondes de température (une pour chaque face). Au besoin, légèrement soulever l'échantillon de matériau avec le crochet de montage.
- Brancher les sondes de température au Sensor-Cassy à l'aide de l'adaptateur NiCr-Ni S, conformément à la fig. 1.
- Brancher le transformateur aux raccords du chauffe-plaques. Attendre pour mettre le transformateur en marche !
- Étendre une feuille de plastique mince mais parfaitement étanche (par ex. un film alimentaire étirable) par-dessus la chambre calorimétrique. Placer un sac rempli de glace sur la plaque en aluminium supérieure. Veiller à ce qu'il n'y ait aucune infiltration d'eau dans la chambre ni sur les câbles.

Remarques : le sac ne doit pas être trop petit. La glace doit avoir un contact le meilleur possible avec la plaque en aluminium. Plus les morceaux de glace sont petits, mieux ils se répartissent sur l'échantillon de matériau. L'idéal est de poser en plus un objet lourd sur le sac, sans pour autant abîmer ce dernier.

Réalisation

a) Mesure de la puissance

- [Charger les paramètres dans CASSY Lab 2.](#)
- Brancher la chambre calorimétrique au transformateur ajusté en fonction de l'échantillon de matériau choisi.

N.B. : du fait de la faible conductivité de la plaque en mousse Rohacell, la tension de travail ne doit pas excéder la valeur limite de 6 V faute de quoi il y aurait un risque de surchauffe de la chambre calorimétrique !

- Mettre le transformateur en marche tout en observant brièvement la tension U_{B1} et l'intensité du courant I_{A1} . Noter les valeurs relevées.
- Noter la puissance P .
- Arrêter à nouveau le transformateur !

N.B. : le transformateur doit rester le moins longtemps possible en service pour réaliser cette mesure. Ensuite, il convient d'attendre le refroidissement complet du chauffe-plaques jusqu'à la température ambiante.

Remarque de sécurité

Ne pas chauffer la chambre calorimétrique, les parois et les échantillons de matériaux à plus de 60 °C !



b) Mesure de la température

- [Charger les paramètres dans CASSY Lab 2.](#)

N.B. : éventuellement amener les sondes de température à la même température, par ex. dans un bain marie, et corriger les valeurs dans CASSY Lab 2 de façon à ce que la température affichée soit la même pour les deux sondes.

- Observer les deux températures ϑ_{A11} et ϑ_{A12} .
- Attendre que la température la plus basse ne change plus.

N.B. : suivant le cas, il est fort possible que la température de la glace soit nettement inférieure à 0 °C. Afin de maintenir cette température la plus constante possible durant la mesure, il est conseillé d'avoir une température entre -2 °C et +4 °C.

- Mettre le transformateur en marche. Attendre pour lancer la mesure !
- Observer les deux températures et attendre que la température la plus élevée se mette à augmenter.
- Lancer la mesure avec .
- La température de la face intérieure augmente alors que la température extérieure sous la glace reste constante. Dès que la température extérieure augmente (déjà pour une différence de 0,5 °C), optimiser avec précaution le contact avec la glace et ce, plusieurs fois si nécessaire, tout au long de la mesure.
- Si la température intérieure atteint une température de 60 °C, arrêter le transformateur et recommencer l'expérience avec une tension et donc une puissance plus faibles.
- Si la température intérieure ne varie plus que lentement voire même plus du tout (soit jusqu'à environ 0,15 °C par minute), la mesure peut alors être arrêtée avec .
- Arrêter le transformateur !

N.B. : pour le démontage, il faut commencer par enlever les sondes de température puis retirer l'échantillon de matériau de construction à l'aide du crochet de montage.

Exemples de mesure

Les figures 3 à 6 représentent l'évolution temporelle de la température pour les différents échantillons de matériaux.

La température en équilibre thermique ϑ_{ET} est déterminée par adaptation à partir de la courbe de la température intérieure ϑ_{A11} (dessous de l'échantillon). La ligne continue est justement la fonction issue de cette adaptation.

La valeur moyenne de la température extérieure la plus basse ϑ_{A12} (dessus de l'échantillon recouvert de glace) donne la température ϑ_{Troid} .

La différence de température $\Delta\vartheta = \vartheta_{ET} - \vartheta_{Troid}$ est calculée à partir de ces valeurs.

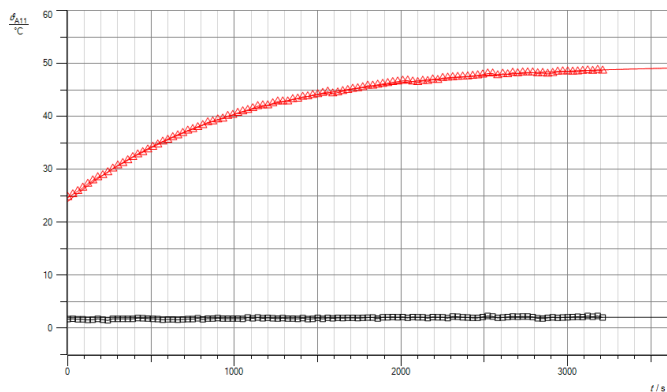


Fig. 3 Polystyrène

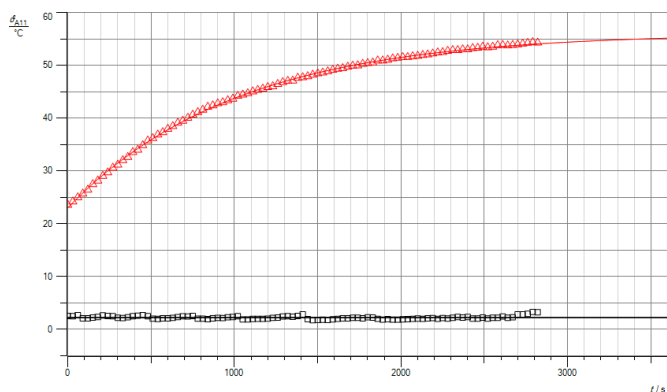


Fig. 4 Bois aggloméré

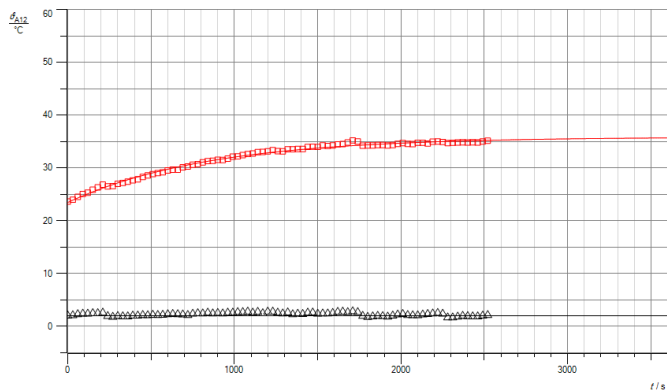


Fig. 5 Fermacell (plâtre)

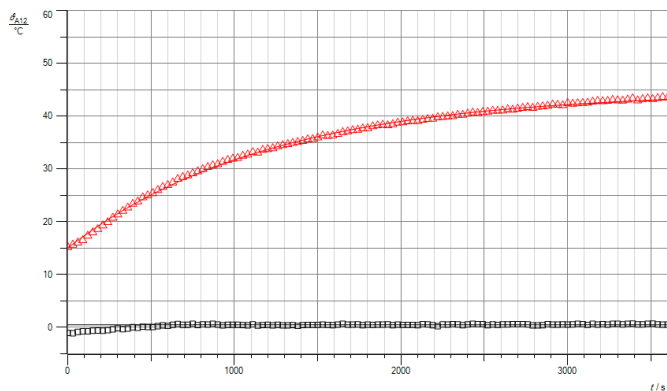


Fig. 6 Rohacell (mousse isolante)

	Polystyrène	Bois aggloméré	Fermacell (plâtre)	Rohacell (mousse isolante)
$\frac{A}{m^2}$	0,0225			
$\frac{d}{m}$	0,01			
$\frac{U}{V}$	12	12	12	6
$\frac{P}{W}$	21,2	21,2	21,2	5,3
$\frac{\Delta\vartheta}{K}$	48	54	34	45
$\frac{\lambda}{\frac{W}{m \cdot K}}$	0,19	0,17	0,28	0,05
$\frac{\lambda_H}{\frac{W}{m \cdot K}}$	0,16-0,18	0,07-0,17	0,23-0,28	0,02-0,05

Tab. 1 : synthèse des résultats des mesures. Les valeurs pour λ_H sont des données du fabricant.

Plus la conductivité thermique est faible, plus la température à l'intérieur de la chambre est élevée. Ce faisant, on notera que pour la mousse Rohacell (matériau isolant), une puissance nettement plus faible suffit pour atteindre une température tout aussi élevée.

Remarque

La conductivité thermique calculée est systématiquement légèrement plus grande que la conductivité thermique effective. Ceci est dû aux pertes de chaleur. Pour le calcul, on suppose que la puissance électrique P correspond exactement au flux thermique. La conductivité thermique λ calculée est définie comme suit :

$$P = \lambda \cdot \frac{A}{d} \cdot \Delta\vartheta .$$

Comme pour les mesures, c'est seulement le flux thermique $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ qui traverse les échantillons, la conductivité thermique effective est donnée par :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \dot{Q} = \lambda_{eff} \cdot \frac{A}{d} \cdot \Delta\vartheta .$$

Il s'ensuit

$$\lambda = \lambda_{eff} \cdot \frac{P}{\dot{Q}} .$$

Comme le flux thermique \dot{Q} qui traverse la plaque est plus faible que la puissance électrique P , le quotient $\frac{P}{\dot{Q}}$ est supérieur à un. La conductivité thermique mesurée est ainsi légèrement supérieure à la conductivité thermique effective.